Aus dem Arbeits- und Wehrphysiologischen Institut
der Militärärztlichen Akademie Berlin
(Leiter: Oberstabsarzt Prof. Dr. O. F. Ranke).

Günstigste Bedingungen zur Massenuntersuchung der Dunkelanpassung und die Veränderung der Kurve der Hellanpassung bei Adaptationsgestörten

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Medizinischen Doktorgrades
an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Ernst van Beuningen
aus Berlin
Feldunterarzt an der Militärärztlichen Akademie Berlin

Tag der Promotion: 5. Dezember 1940

Druck: M. Rinck, Berlin N 4, Invalidenstr. 102

M 316

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. K r e u z
Referent: Prof. Dr. R a n k e
Korreferent: Prof. Dr. T r e n d e l e n b u r g

RIJKSUNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Die Empfindlichkeit des Auges kann sich weitgehend an die Helligkeit anpassen. So liegt die absolute Schwelle des dunkeladaptierten Auges bei 10^{-6} lux*, die absolute Blendung des helladaptierten Auges bei 10^{6} lux. Das vom Dämmersehen zu unterscheidende Tagessehen umfaßt den Bereich von 10^{2} bis 10^{6} lux, der Wert des Dämmersehens geht von 10^{-6} bis 10^{-2} lux; der Zwischenbereich von 10^{-2} bis 10^{2} lux wird als Zustand des Funktionswechsels bezeichnet. Das Hellsehen schreibt man im wesentlichen den Zapfen zu, während zum Dunkelsehen Stäbchen, Sehpurpur und Pigmentepithel beitragen. Im Zustand des Funktionswechsels herrscht ein Mischsehen von Stäbchen und Zapfen.

Leider ist keine Einheitlichkeit in der Untersuchung der Dunkelanpassung erreicht worden. Teils wird, wie bei dem 5-Punkt-Adaptometer von Birch-Hirschfeld und neuerdings bei dem Adaptometer von Gleß gleichzeitig mit der Messung der Schwellenlichter eine Sehschärfenprüfung verbunden. Wie besonders Herr Professor Trendelenburg, der freundlicherweise seine Erfahrungen zur Verfügung stellte, betonte, muß zwischen dem Sehen von Schwellenlichtern und der Sehschärfe unterschieden werden. Dabei ist wesentlich, daß die Sehschärfe während der Dunkelanpassung abnimmt, da ja bei geringer Beleuchtung das zentrale Zapfensehen mehr oder weniger vollständig ausfällt. Aber auch für die reine Untersuchung von Schwellenlichtern (H. K. Müller, Matthey, Piper, Kohlrausch und andere) sind die Bedingungen noch keineswegs einheitlich. Die folgende Tabelle gibt eine Vorstellung, wie verschieden die Bedingungen bisheriger Untersuchungen waren.

---

* lux = Einheit der Beleuchtungsstärke, die von einer leuchtenden Fläche in bestimmter Richtung ausgeht.

$$1 \text{ lux} = \frac{1}{10\,000 \cdot \pi} \cdot \text{HK pro cm}^2$$

Tabelle 1.

Autor	Art der Beobacht.	Beob. Abst.	Feldgröße	Zentral-abstand	Art der Schwell. Bestimm.	Einstellg. der Licht-schwelle
Piper (1903)	binocul.	30 cm	10 · 10 cm im Quadrat 19,1° bzw. 26°	keine Angaben	Verschw.-schwelle	Versuchs-person
Wölfflin (1905)	binocul. und monocul.	—	3 cm ø = 13°	13 cm	—	—
Nagel (1913)	binocul.	57 cm	10 cm ø = 10°	13—15 cm = 13,1° — 15,1°	Verschw.-schwelle	Vp.
Kohlrausch (1922)	monocul. und binocul.	—	z. T. 1 cm ø	bis 20°	Auftauch-schwelle	Vp.
Müller H. K. (1930)	binocul.	60 cm	10 cm ø = 10°	keine Angaben	Verschw.-schwelle	Vp.
Engelking (1932)	binocul.	57 cm	10 cm ø = 10°	kein Fix.-Punkt	Auftauch-schwelle	Versuchs-leiter

Eine weitere Zusammenstellung über die benutzte Vorbelichtung zeigt auch hier große Unterschiede.

Tabelle 2.

Autor	**Vorbelichtung**
Piper	Eine Viertel- bis eine Stunde im Freien
Wölfflin	keine genauen Angaben
Nagel	—
Kohlrausch	10 Minuten mit 3000 lux
Müller, H.K.	10 Minuten mit 3000 lux
Engelking	—
Matthey	5—10 Minuten mit 3000 lux.

Es ist verständlich, daß bei derartig verschiedener Methodik auch keine Einheitlichkeit der Ergebnisse zu erwarten ist. Für eine genaue Erfassung krankhafter Störungen der Dunkelanpassung ist

es aber erste Voraussetzung, daß eine Abgrenzung zwischen Normalem und Krankhaftem möglich ist. Für die besonderen Zwecke der Wehrmacht muß dabei außerdem sichergestellt sein, daß auch eine von einem anderen Untersucher aufgenommene frühere Adaptationskurve mit dem augenblicklichen Befund verglichen werden kann. Wir haben uns bemüht, eine Methode zu finden, um mit Sicherheit auch in Massenuntersuchungen die Lichtschwellenwerte feststellen zu können.

Methodik.

Zur Untersuchung des Dunkeladaptationsvorganges benutzten wir Schwellenreize wechselnder Lichtintensitäten, die anfangs mit dem freundlicherweise von Professor Trendelenburg zur Verfügung gestellten Piperschen Adaptometer später mit dem Engelkingschen Adaptometer hergestellt wurden.

Das Pipersche Adaptometer, 1907 veröffentlicht, besteht aus einem 75 cm langen Kasten am geschlossenen Ende eine Glühlampe enthaltend; 25 cm davon ist eine Aubertsche mit Milchglas belegte Blende (Blende 1) angebracht, welche bei Einstellung auf maximale Weite eine Oeffnung quadratischer Form von 100 mm Seite und nach Zuziehung auf minimale Weite eine Oeffnung von 4 mm Seitenlänge besitzt. In 25 cm Abstand davon folgt ein gleiches Aubertsches Diafragma (Blende 2), dessen Weite in demselben Spielraum verändert werden kann. Weitere 25 cm davon steht eine dritte Blende gleicher Art (Blende 3). Diese schließt den ganzen Kasten vorne ab und dient als Beobachtungsobjekt.

Die Lichtintensität des Reizfeldes ändert sich proportional dem Quadrat der Seite der quadratischen Blendenöffnung. Die Schwellenreize werden von Zeit zu Zeit bestimmt. Der zu jedem Skalenteil gehörende Lichtwert ist eine willkürliche Einheit. Das Schwellenlicht selbst hatte die gelblichweiße Farbe einer elektrischen Glühlampe.

Bei Schließung der Blende 1 ist die Lichtintensität des Reizfeldes auf 1/625 des Maximalwertes herabgesetzt. Jetzt kann die Lichtintensität, welche von Blende 2 auf Blende 3 fällt, nochmals auf 1/625 verringert werden. Jede Blende schwächt also im Verhältnis 625 zu 1, beide zusammen auf das 390 625fache der Anfangsintensität.

Das 1932 von Engelking entwickelte Adaptometer ist ein rechteckiger Kasten von 43 cm Länge. In die Vorderwand ist eine kreisrunde Milchglasscheibe von 10 cm Durchmesser eingelassen. Als Lichtquelle wird eine mattierte 40 Watt-Osramlampe benutzt, die ohne Widerstand an das Netz anschließt. Die lichtabschwächenden Systeme sind folgende: 8 cm vor der Osramlampe steht eine Milchglasscheibe. Davor liegt ein optisches Blaufilter, welches das gelbe Licht der elektrischen Birne weiß macht. Das Maximum der Durchlässigkeit wird bei 550 μ angegeben. Darauf folgt eine Kassette mit drei unabhängig von einander gleitenden Schiebern. Hier liegt

der Lampe am nächsten eine schwarze Metallblende mit einem runden Loch. Das Licht wird durch diese Blende von seiner Ausgangsstärke auf 0,01 abgeschwächt. Die beiden anderen Schieber sind photometrisch geeichtes Neutralgrauglas. Jedes Filter besitzt eine Durchlässigkeit von 0,01.

Zur feineren kontinuierlichen Regelung der Helligkeit ist zwischen beobachteter Lichtfläche und Schieberkassette ein Aubertsches Diafragma eingesetzt, das durch eine Milchglasscheibe vom Filtersystem diffuses rein weißes Licht empfängt. Dieses Diafragma hat eine quadratische Oeffnung. Bei größter Blendenweite beträgt die Kantenlänge 70 mm, bei kleinster meßgenauer Blendenweite 7 mm Seitenlänge.

Zur Helladaptation fand der Lichthimmel von Drescher und Trendelenburg Verwendung. Dieser Lichthimmel ist eine Halbkugel von 50 cm Durchmesser, innen mattweiß gestrichen, mit 4 Nitra-Opalglaslampen von je 100 Watt in gleichmäßigen Abständen, die durch halbkegelförmigen Schirm gegen den Beobachter abgedeckt sind. Die Helligkeit des Lichthimmels, gemessen an der Stelle der zu untersuchenden Augen mit einem Luxmeter der Firma Gossen, Erlangen, wurde beim Einschalten aller 4 Lampen mit einem Widerstand auf 2800 lux einreguliert. Die absolute Helligkeit des verwendeten Adaptometers konnte nur in der hellsten Stellung ausreichend gemessen werden. Sie betrug in 60 cm Abstand von der Leuchtfläche beim Engelkingschen Adaptometer 0,02 lux, gemessen mit einem Luxmeter der Firma B. Lange, Berlin-Zehlendorf, und einer 7-zelligen Selenzelle. Die geringeren Helligkeiten wurden entsprechend der obigen Angabe berechnet. Adaptometer und Lichthimmel wurden in Augenhöhe der sitzenden Vp. so angeordnet, daß durch eine Drehung auf dem Drehschemel das Kinn wahlweise auf der Kinnstütze des Adaptometers oder der des Lichthimmels aufgesetzt werden konnte. Zur Markierung der Blickrichtung wurde ein rot beleuchteter Fixierpunkt mit 2 mm Durchmesser, der an einem Stativ in Höhe der Leuchtfläche verstellbar befestigt wurde, benutzt. Diese Helligkeit konnte durch einen Widerstand vermindert werden, um besonders bei fortgeschrittener Dunkelanpassung dem Bedarf angepaßt zu werden. Der Beobachtungsabstand (Abstand von Feldmitte bis zum Augendrehpunkt) blieb für alle Versuchsreihen unverändert 60 cm. Das meist benutzte runde Reizfeld von 10 cm Durchmesser erschien damit unter 9,55°.

Die Vp.'s waren vorwiegend Studenten im Alter von 19—22 Jahren. Kurzsichtige, Weitsichtige und Astigmaten wurden durch vorhergehende Untersuchung ausgeschaltet. Bei dem guten Ernährungszustand und der einheitlich geordneten Ernährung (Wehrmachts-

verpflegung) haben wir Grund zu der Annahme, daß die Vitamin A-Versorgung ausreichend war. Die Vp.'s kamen aus dem Freien. Vorversuche zeigten, daß unter diesen Voraussetzungen auch ohne Verabreichung von Hom-Atropin mit 2800 lux am Trendelenburgschen Lichthimmel in 5 Minuten ein ausreichend gleichmäßiger Ausbleichungszustand erreicht wurde.

Für die Aufzeichnung des Adaptationsverlaufes kamen die Empfindlichkeit in lux, logarithmisch auf der Ordinate angetragen, und die arithmetische Zeitprogression auf der Abszisse, zur Anwendung.

Vorversuche:

Eine Reihe von Vorversuchen diente dazu, einmal möglichst alle Fehlerquellen auszuschalten und damit Bedingungen aufzusuchen, unter denen ohne Vorübung mit möglichst geringem Zeitaufwand sichere Ergebnisse gewonnen werden.

1. Zentralabstandswinkel.

Nach Untersuchungen von Roeloff und Zeemann wird das Maximum der Empfindlichkeit bei 18° Zentralabstandswinkel erreicht. Es zeigte sich jedoch, daß ein so großer Zentralabstandswinkel, besonders bei ungeübten Vp.'s zu außerordentlich unsicheren Ergebnissen führt. Im Anfang sofort nach der Ausbleichung ist die Macula lutea und ihre Umgebung viel empfindlicher als dieser periphere Bereich. Die Folge davon ist, daß die Vp.'s nur äußerst schwer dazu veranlaßt werden können, wirklich nur dann das Licht als gesehen anzugeben, wenn sie gleichzeitig den roten Punkt fixierten. Auch der Ort der größten Sehschärfe liegt während der ganzen Anpassungszeit in der parafovealen Gegend. Daher neigt jede Vp. dazu, den Blick näher an die Lichtfläche heranzuführen. Es wurde daher bei 30 Versuchen den Versuchspersonen aufgegeben, ohne Einhaltung eines Fixierpunktes das erste Auftauchen von Licht anzugeben. Dabei wurde beträchtlich schnelleres Ansteigen der Dunkelanpassungskurve als beim Einhalten eines bestimmten Fixierpunktes erreicht. Doch gelang es nicht, bei Wiederholung an der gleichen Vp. einheitliche Kurven zu erzielen. Immerhin zeigte es sich, daß es allen Vp.'s sehr leicht gelingt, einen Fixierpunkt mit 5° Zentralabstandswinkel von der Mitte des Reizfeldes dauernd einzuhalten, wie Abb. 1 zeigt.

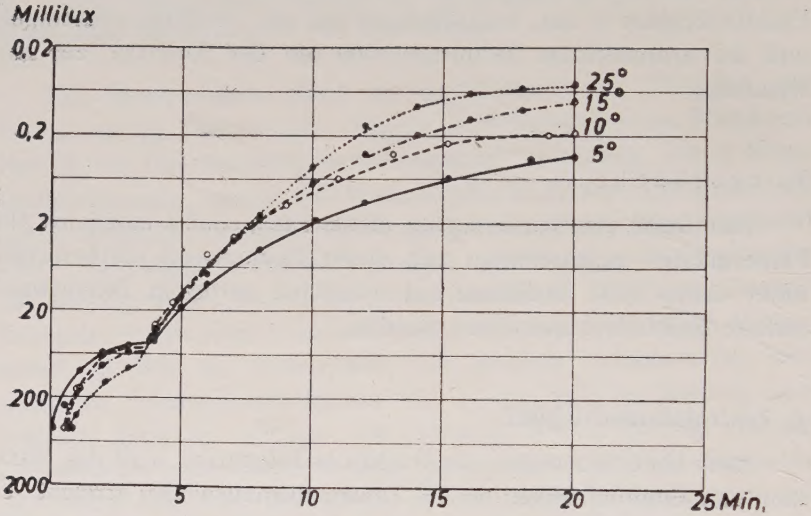


Abb. 1.

Empfindlichkeitskurven bei verschiedenen Zentralabstandswinkeln des Fixierpunktes. Vp. Lz. Alter: 20 Jahre. 5 Minuten Vorbelichtung mit 2800 lux, Reizfeldgröße 10 cm. Abszisse: Zeit in Minuten. Ordinate: Logarithmen der Helligkeit in Millilux.

Es wird dadurch keineswegs der höchste Anstieg der Dunkelanpassung gemessen, den auch wir (Abb. 2). bei 18.30° fanden. Die geringe Streuung der Werte bedeutet aber einen so erheblichen Vorteil, daß wir für alle weiteren Versuche an diesem Zentralabstandswinkel von 5° festhielten. Hierbei liegt der rote Fixierpunkt wenige Millimeter über dem Oberrand der Leuchtfläche mit 10 cm Durchmesser. Die Leuchtfläche beleuchtet damit sowohl Teile des Zapfenapparates wie des Stäbchenapparates. So wird in der Gesamtkurve noch ein deutlicher Knick erzielt, der bei unserer Art der Vorbelichtung zwischen der 4. und 6. Minute lag.

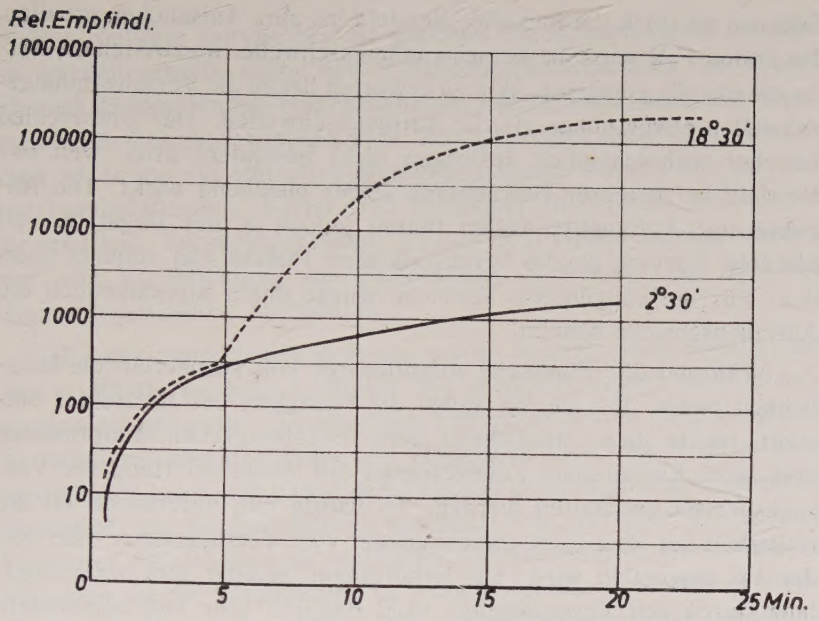


Abb. 2.

Empfindlichkeitskurven bei 18,30° Zentralabstandswinkel 10 cm Feld und 2,30° Zentralabstandswinkel 1 cm Feldgröße Vorbelichtung. Vp. Lke. 5 Min. 2800 lux. Abszisse: Zeit in Minuten. Ordinate: Logarithmen der Helligkeit in relativer Empfindlichkeit.

Bei noch kleinerem Zentralabstandswinkel (2,30°) und 1 cm Durchmesser des Reizfeldes ist der Knick nicht mehr zu beobachten, da hier fast nur der Zapfenapparat getroffen wird.

2. Reizfeldgröße.

In einzelnen Versuchen wurde erprobt, ob mit einer geringeren Reizfeldgröße als 10 cm Durchmesesr in 60 cm Abstand auszukommen ist. Besonders bei geübten Vp.'s gelingt es ohne weiteres, auch noch mit Reizfeldern bis zu 1 cm Durchmesser sichere Kurven zu erlangen, wenn der Fixierpunkt gleich festgehalten wird. Bei ungeübten Vp.'s ist jedoch das Reizfeld von 10 cm Durchmesser deswegen besonders günstig, weil dann der Fixierpunkt mit 5° Zentralabstandswinkel gerade am Rande des Reizfeldes liegt.

3. Art der Einstellung.

Zur Messung jedes einzelnen Punktes kann man entweder ein sicher noch gesehenes Reizfeld bis zum Verschwinden verdunkeln

oder ein zu stark verdunkeltes Reizfeld bis zum Auftauchen erhellen. Im ersten Fall wird die Verschwindungsschwelle, im zweiten die Auftauchschwelle gemessen. Wie zu erwarten liegen die Verschwindungsschwellen etwas höher als die Auftauchschwellen. Der Unterschied ist aber wahrscheinlich deswegen nicht besonders groß, weil das Reizfeld bei längerer Betrachtung selber bleichend wirkt. Die Angaben mit Auftauchschwellen führen jedoch in der Regel zu viel klareren Kurven, da die herausfallenden Punkte viel seltener werden. Für die endgültigen Versuche wurde daher ausschließlich die Auftauchschwelle benutzt.

Während das Pipersche Adaptometer von vornherein die Möglichkeit bietet, daß die Vp. selbst die Helligkeit des Reizfeldes einstellt, mußte diese Möglichkeit beim Engelkingschen Adaptometer erst durch Einbau eines Zahngetriebes mit Welle zur Hand der Versuchsperson geschaffen werden. Es wurde nun untersucht, ob die Helligkeit der Reizfläche zweckmäßiger vom Versuchsleiter oder von der Vp. eingestellt wird. Die Erfahrungen zeigten, daß bei Einstellung durch den Versuchsleiter wohl dadurch sehr viel ungenauere Werte erreicht wurden, daß einmal während der Latenzzeit der Vp. vom Versuchsleiter weiter verstellt wurde, daß zweitens die Vp. bei Selbsteinstellung auch ohne große Uebung diesen Fehler durch Zurückdrehen wieder beseitigt. Die Selbsteinstellung ist daher für die fortlaufende Messung von Adaptationskurven der Einstellung durch den Versuchsleiter vorzuziehen. Dagegen bewährt sich die Einstellung durch den Versuchsleiter besonders dann, wenn durch grobe Stufen ein Ueberblick gewonnen werden soll, sowie zur Ausschaltung von Täuschungen und von Simulationen. Hierzu ist besonders das Engelkingsche Adaptometer geeignet, bei dem man an den Blendenschiebern klappern kann, ohne daß tatsächlich die Helligkeit verändert wird.

4. Vorbelichtung und Zwischenbelichtung.

Nach wenigen Vorversuchen hatten wir uns überzeugt, daß eine Vorbelichtung von 5 Minuten am Trendelenburgschen Lichthimmel mit 2800 lux ausreichte, um stets gleiche Adaptationskurven zu erreichen, besonders wenn die Vp.'s wie gewöhnlich sich vorher im Hellen aufgehalten hatten. Die Ausbleichung ist dabei nicht vollständig, denn es konnte so der höchste einstellbare Wert von 0,6 lux schon nach etwa 20 Sekunden Dunkelanpassung, bei längerer Vorbelichtung aber erst nach 50 bis 60 Sekunden parafoveal gesehen werden.

Sollten mehrere Kurven bei der gleichen Vp. aufgenommen werden, so wurden jeweils außer den 5 Minuten Hellanpassung am Lichthimmel 25 Minuten bei eingeschaltetem Lichthimmel, aber mit abgewendetem Gesicht, zwischen zwei Versuchsreihen geschaltet. Es gelang so, schon mit einfachen Messungen zügige Kurven mit nur wenig herausfallenden Werten und deutlicher Ausbildung des Knicks zu erhalten. Versuchspersonen, die aus dem Hellen kamen, wurden vor der Vorbelichtung im Lichthimmel 5 Minuten der gleichen Zimmerbeleuchtung ausgesetzt.

Bei der eigentlichen Messung wurde anfangs jede Minute, von der 8. Minute an jede 2. Minute der Augenblickswert der Dunkelanpassung gemessen. In einzelnen Versuchen wurde zum Vergleich in möglichst direkter Folge ein Meßpunkt nach dem andern festgestellt. Es zeigt sich dabei, daß dann die Dunkelanpassung merklich gegenüber den übrigen Kurven verzögert war, da schon das geringe Licht der Reizfläche eine merkliche Ausbleichung bewirkt. Wie zu erwarten, ist die Verzögerung im Anfang der Kurve besonders stark, so daß der Knick, der sonst bei 5° Zentralabstandswinkel spätestens nach 5 Minuten erreicht wird, erst in der 7. Minute zu beobachten war. Zur Ausschaltung der Zwischenbelichtung wurde daher weiterhin folgendes Versuchsschema eingehalten.

Tabelle 3.

Zeitpunkte der Einzelmessungen.

Eintritt aus dem Freien	**Vorhergehende Einübung**
↓	↓
5 Minuten Aufenthalt bei ca. 200 lux.	5 Minuten Aufenthalt
↘	↙
5 Minuten Voradaptation am Lichthimmel bei 2800 lux.	

Bestimmung der Empfindlichkeit durch Selbsteinstellung bei 10 cm Reizfelddurchmesser, 60 cm Beobachtungsabstand, 5° Zentralabstandswinkel nach Verlauf von 1 Minute; bis zur 8. Minute Schwellenmessungen in 1-Minuten-Abstand, ab 8. Minute erfolgten die Messungen alle 2 Minuten bis 25 Minuten nach Ende der Vorbelichtung.

Ergebnisse:

Nachdem so alle Vorbedingungen für die Erzielung einheitlicher Anpassungskurven erreicht waren, wurden an ca. 30 gesunden Versuchspersonen zwischen 19 und 20 Jahren in gutem, gleichmäßigen Ernährungszustand Normalkurven aufgenommen. Die Bedingungen wurden wie folgt festgesetzt:

Reizfläche mit rein weißem Licht, 10 cm Durchmesser, Milchglas, Beobachtungsabstand 60 cm, binokulare Beobachtung. Zentralabstand des Fixierpunktes von der Mitte des Reizfeldes 5,3 cm (Zentralabstandswinkel 5°). Einstellung der Auftauchschwelle in Abständen von 2 Minuten durch die Versuchsperson selbst, die erste Auftauchschwelle sofort nach Erkennen des Fixierpunktes. Während der Pause zwischen den einzelnen Schwellenmessungen schloß die Versuchsperson die Augen. Für jede Schwellenmessung wurden unter diesen Umständen 8 bis 10 Sekunden benötigt.

Die Erfahrung zeigte, daß unter diesen Bedingungen schon eine kurze Erläuterung des Gerätes zum Erlernen der Selbsteinstellung während der 5 Minuten im durch den Lichthimmel erleuchteten Zimmer als Vorübung ausreichte. Fixationsschwierigkeiten traten in

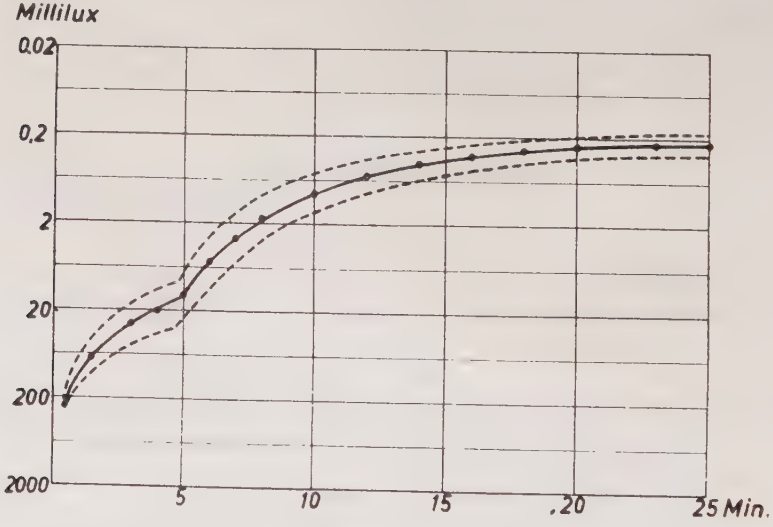


Abb. 3.

Mittelwerte erster Dunkelanpassungskurven bei 28 Vp.'s im Alter von 19 bis 20 Jahren mit 5 Minuten Vorbelichtung 2800 lux, 5° Zentralabstandswinkel, 10 cm Reizfeldgröße, 60 cm Abstand.
Gestrichelte Kurven: Schwankungsbreite. Abszisse und Ordinate wie Abb. 1.

keinem Falle auf, da der rote Fixierpunkt unmittelbar am oberen Rande des Reizfeldes angebracht war. Das Ergebnis dieser Versuche zeigt die Abb. 3.

Zum Vergleich wurde eine Reihe von Adaptationskurven ohne Vorbelichtung am Trendelenburgschen Lichthimmel aufgenommen, bei denen die Versuchspersonen 10 Minuten in einem Raum mit 80 bis 100 lux sich aufhielten und sofort danach mit der Adaptationsmessung begannen. Diese Kurven ohne Vorbelichtung liegen stets höher und sind besonders im Anfang beträchtlich steiler als die Kurven mit Vorbelichtung am Lichthimmel. Auch der in 20 Minuten erreichte Endwert liegt höher als der mit Vorbelichtung.

Durch Versuche mit dämmerwertfreiem Rotlicht wurde festgestellt, daß der unter diesen Bedingungen gefundene Knick in den Kurven mit Vorbelichtung tatsächlich den Uebergang vom Zapfensehen zum Stäbchensehen darstellt. Mit dämmerwertfreiem Rotlicht als Reizlicht verläuft die Kurve bis zum Knick identisch mit der bei weißem Licht, um weiterhin in der Gegend von 20 Millilux einem Endwert zuzustreben, während die Kurven mit weißem Licht in der 5. Minute neuerdings steil ansteigen und ihren 20-Minutenwert in der Gegend von 0,2 bis 0,25 Millilux erreichen.

Jede einzelne Versuchsperson benötigte auch so noch einen Zeitaufwand von 30 Minuten. Dies ist für Massenuntersuchungen schon allein zu dem Zweck, um Nachtblindheit herauszusuchen, undurchführbar. Es wurde daher versucht, auf Grund der so gefundenen Normkurven ein vereinfachtes Verfahren zum Herausfinden adaptationsgeschädigter Personen auszuarbeiten. Es bewährte sich folgendes Verfahren: Mit der Blende des Engelkingschen Adaptometers wurde nach der Eichkurve eine Helligkeit von 60 Millilux (in 60 cm Abstand gemessen) eingestellt. Durch Vorschieben der Schieber konnte so sofort zwischen 60,0 und 0,6 Millilux gewählt werden. Mit Vorbelichtung muß die Reizschwelle mit 60 Millilux von allen Versuchspersonen, auch den Nachtblinden, spätestens nach 4 bis 5 Minuten gesehen werden. Das Schwellenlicht von 6 Millilux wird von gesunden Vp.'s nach 8 bis 9 Minuten, von völlig Nachtblinden gar nicht, und von Geschädigten zu spät erkannt. Das Schwellenlicht von 0,6 Millilux wird nur von Gesunden in der 15. bis 16. Minute gesehen. Ohne Vorbelichtung am Trendelenburgschen Lichthimmel verkürzen sich die Zeiten; besonders wird das Licht von 0,6 Millilux schon in der 8. Minute gesehen.

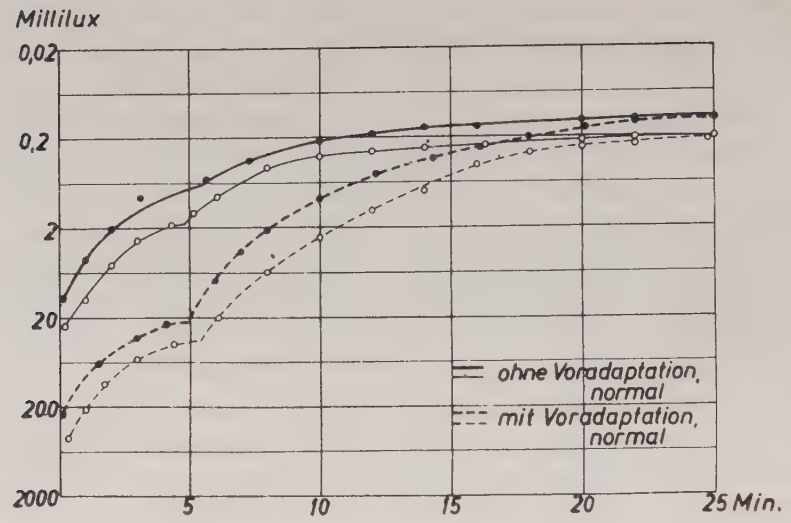


Abb. 4.

Normale Empfindlichkeitskurven mit und ohne Voradaptation.
Dicke Kurve: Vp. Tar. mit hohen Adaptationswerten.
Dünne Kurve: Vp. Lz. mit ausgesprochen niedrigen Adaptationswerten.
Abszisse und Ordinate wie Abb. 1.
0,6 Millilux ist die dünne Linie zwischen 2 und 0,2 Millilux.

Es können nunmehr jeweils 10 Versuchspersonen gleichzeitig nach 10 Minuten Aufenthalt in einem Raum mit 80 bis 100 lux Helligkeit in einen Dunkelraum gebracht werden, von hier werden sie nach weiteren 10 Minuten der Reihe nach in 2 bis 3 Minuten darauf geprüft, ob sie die Kontrollschwelle mit 0,6 Millilux sehen. Durch kurzes Zwischenschalten der Kontrollschwelle mit 6 Millilux können Unsichere geprüft, durch völliges Abdunkeln und Einschalten von 60 Millilux Simulanten gefaßt werden. Wer unter diesen Bedingungen 0,6 Millilux nicht sieht, muß der genaueren Untersuchung zugeführt werden. Bei günstiger Auswahl der Räume und Hand-in Hand-Arbeiten des Versuchsleiters am Adaptometer mit einem Einweiser im hellen Raum können so bis zu 200 Mann in der Stunde voruntersucht werden. Mit diesem Verfahren wurden 10 Kranke der Inneren Abteilung eines Lazarettes durch die liebenswürdige Unterstützung von Herrn Stabsarzt Dr. Gutsch und Herrn Stabsarzt Dr. Sommerkamp durchuntersucht und dabei 4 Adaptationsschwache gefunden. Zwei davon wurden darauf am Adaptometer eingeübt und unter verschiedenen Bedingungen mit und ohne Vorbelichtung genau unter-

sucht. Bei einer Vp. bestand ein schlechter Ernährungszustand nach überwundener schwerer Bronchitis, Alter der Vp. 41 Jahre. Bei der zweiten Vp. lag ein Ikterus und Diabetes mellitus vor. Alter der Vp. betrug 47 Jahre. Das Ergebnis ist jeweils mit den Vergleichswerten der Abb. 4 in Abb. 5 und 6 dargestellt.

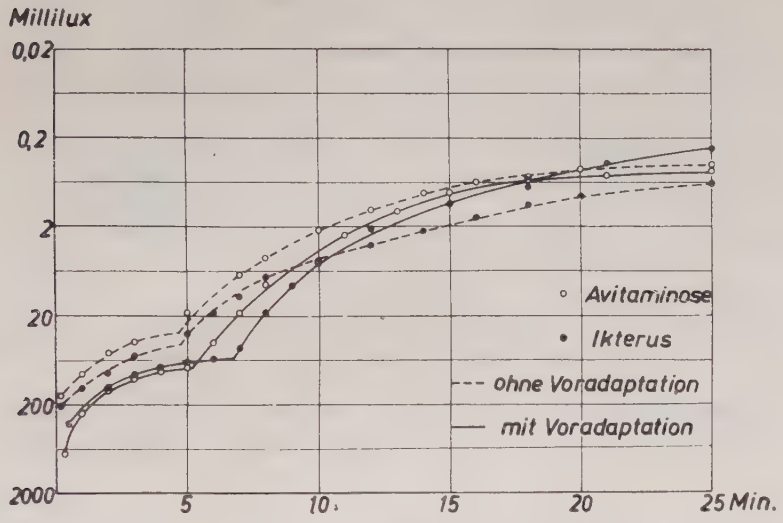


Abb. 5.

Vergleichswerte der Abb. 4 mit adaptationsgestörten Kurven (gestrichelt gezeichnet). Dünne gestrichelte Kurve: Vp. Kr. (Ikterus) — Dick gestrichelt: Vp. Ge. (Avitaminose). Abszisse und Ordinate wie Abb. 1.

Besonders auffallend an diesem Ergebnis ist, daß die Endwerte der Dunkelanpassung dieser Vp., die nach 25 Minuten erreicht wurden, durchaus nicht wesentlich unterhalb der Streuung der gesunden Vergleichspersonen lagen. Nur stiegen die Kurven bei diesen Kranken beträchtlich langsamer an; der Verlauf der Kurve läßt jedoch vermuten, daß bei längerer Beobachtung ab 25 Minuten der endgültige Endwert nicht wesentlich unter dem der gesunden Vergleichsperson liegt. Dies steht in schroffem Gegensatz zu den Aussagen der Versuchspersonen, die selbst die Störung ihrer Dunkelanpassung als Hemmnis in der verdunkelten Stadt sehr deutlich empfinden. Das Wesen der erworbenen Nachtblindheit bei Leberschädigung und Avitaminose ist daher mindestens in den beobachteten Anfangsstadien nicht in einer merklichen Herabsetzung der absoluten Schwelle, sondern in einem verlangsamten Erreichen dieser Endwerte zu suchen.

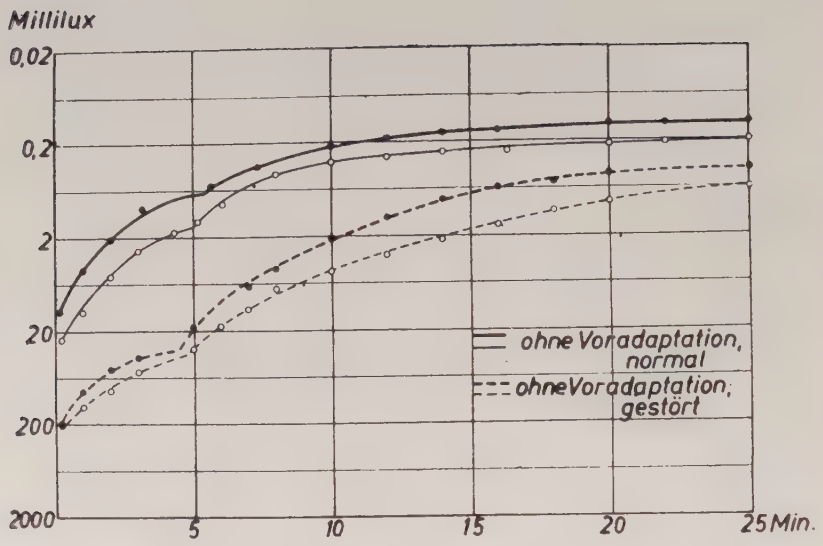


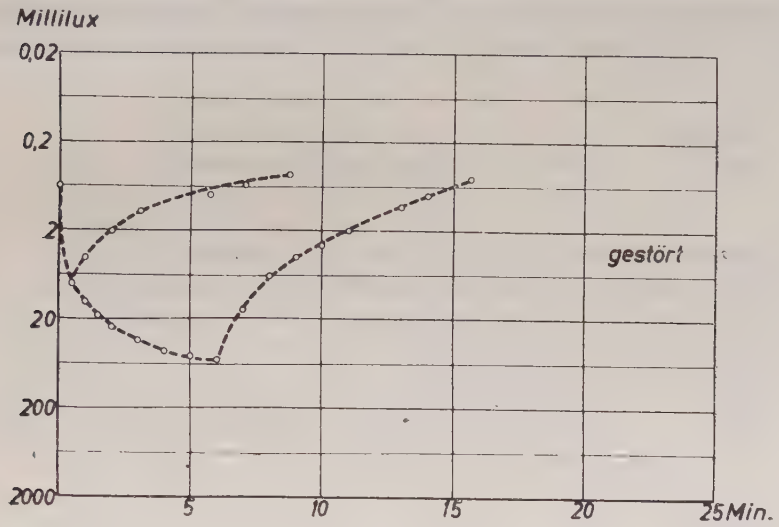
Abb. 6.
Empfindlichkeitskurven mit und ohne Voradaptation von den Anpassungsgestörten der Abb. 5 10 cm Reizfeldgröße, 5° Zentralabstandswinkel. Abszisse und Ordinate wie Abb. 1.

Außerdem unterscheiden sich die mit und ohne Voradaptation gewonnenen Kurven nur sehr wenig. Während der Normale (Abb. 5) ohne Voradaptation sehr schnell und mit einem nur eben angedeuteten Knick hohe Empfindlichkeiten erreicht, verläuft die Kurve des Gestörten auch ohne Voradaptation mit einem ausgesprochenen Knick und so flach wie die Kurve mit Voradaptation.

Ein Zufall brachte uns einen wesentlichen Schritt weiter: Einer der Kranken erklärte, daß er sich besonders dann nicht zurechtfinde, wenn z. B. in der Straßenbahn durch Anzünden einer Zigarette für einen Augenblick die Beleuchtung zunahm. Es wurde daher vermutet, daß bei diesem Kranken die Wirkung der Zwischenbelichtung eine andere sein könnte als bei gesunden Vergleichspersonen. Für die Messung wurden folgende Bedingungen ausgearbeitet:

Aufnahme der Schwellenkurve mit rein weißem Schwellenlicht, nach 5 Minuten Vorbelichtung am Lichthimmel mit 2800 lux. Nach genau 25 Minuten Zwischenbelichtung mit 150 lux am Lichthimmel für 30 Sekunden und sofort erneute Aufnahme der Schwellenkurve. Jedesmal nach Erreichen des bei der ersten Kurve gemessenen Endwertes wird wiederum eine Zwischenbelichtung eingeschaltet, mit der Reihe nach um je eine Minute steigende Zeiten. Die Messung

dieser Kurve ist mühsam und erfordert vom Versuchsleiter und besonders von den Versuchspersonen neben einer ausreichenden Einübung stärkste Aufmerksamkeit. Für je eine gesunde Vergleichs-



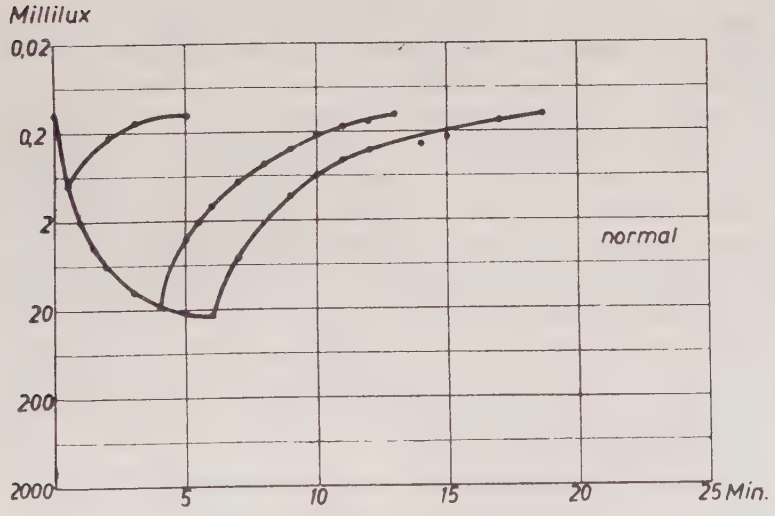


Abb. 7—8.

Kurven der Hellanpassung. (Abfallende Kurven) und anschließende Dunkelanpassung. Diejenige e-Funktion, die die letzten fünf Werte der Abfallkurve des Gestörten möglichst gut deckt, würde zur Zeit 0 durch 7 Millilux laufen.

person und einen Fall von Avitaminose sind die Ergebnisse in Abb. 7 bis 9 dargestellt.

Die Verbindungslinie der sofort nach der Zwischenbelichtung gemessenen Schwellenlichter ergibt in beiden Fällen eine zügige Kurve, die in beiden Fällen auf den Knick der Schwellenkurve zuzustreben scheint.

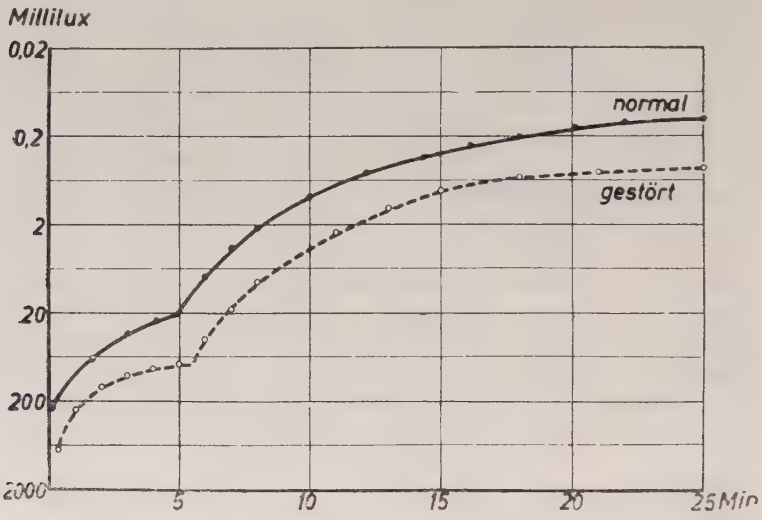


Abb. 9.

Erstkurven nach Voradaptation von 5 Minuten mit 2800 lux, 5° Zentralabstandswinkel und 10 cm Feldgröße.

Jede einzelne Kurve des Wiederauftauchens ist steiler als die Schwellenkurve nach 5 Minuten Ausbleichung. Hieraus ist zu entnehmen, daß der Vorgang beim völligen Ausbleichen mindestens aus 2 Bestandteilen zusammengesetzt ist, einem, der schon nach kurzer Belichtung vollständig abgelaufen ist und verhältnismäßig schnell umkehrbar ist und einem zweiten, der längere Zwischenbelichtung verlangt, dafür aber auch langsam wiederkehrt. Die reine Kurve der Sehpurpurregeneration wird um so mehr in Erscheinung treten, je kürzer die Zwischenbelichtung ist. Die Regenerationskurven des Gesunden und des Kranken scheinen dabei nicht grundsätzlich verschieden.

Im Gegensatz dazu ergibt sich ein sehr deutlicher und starker Unterschied derjenigen Kurve beim Normalen und Kranken, die als Verbindungslinie der ersten Schwellenwerte nach der Zwischen-

belichtung gezogen werden kann. Während der Gesunde einen Abfall der Empfindlichkeit zeigt, der innerhalb der Meßgenauigkeit einer logarithmischen Funktion von der Formel $E = (E_{25} - E_k) \cdot e^{-\alpha t} + E_k$ folgt, läßt sich die entsprechende Kurve beim Nachtblinden nicht durch eine gleiche Funktion decken.

(E = Momentanempfindlichkeit
E_{25} = Empfindlichkeitsendwert 25 Minuten nach der Ausbleichung mit 2800 lux 5 Minuten lang
E_k = Empfindlichkeit am Knick).

Diejenige e-Funktion, die die letzten 5 Werte der Abfallskurve möglichst gut deckt, fällt im Anfang der Kurve weit unter die tatsächlich beobachteten Werte. Einwandfrei ist damit festgestellt, daß in unseren Fällen der Störung der Dunkelanpassung vorwiegend der Verlauf der Hellanpassung beschleunigt ist, während die Dunkelanpassung sehr viel weniger verändert erscheint.

Zusammenfassung.

Nach Vorversuchen an insgesamt 137 gesunden Vp.'s mit 304 Einzelversuchen werden einheitliche Bedingungen zum Erreichen einwandfreier Schwellenkurven der Dunkelanpassung festgelegt. Es wird dabei die Vorbelichtung, die Reizfeldgröße, die absolute Reizfeldhelligkeit, der Zentral-Abstandswinkel und die Methode der Einstellung besprochen.

An 22 gesunden Versuchspersonen werden mit diesen einheitlichen Versuchsbedingungen Normschwellenkurven der Dunkelanpassung festgelegt. Sie werden verglichen mit den Schwellenkurven ohne vorhergehende Hellanpassung.

Zur groben Sichtung eines Krankengutes werden mit Hilfe von 3 Schwellenlichtern die Bedingungen für Massenuntersuchungen festgelegt.

Die so gefundenen Störungen der Dunkelanpassung werden genauer untersucht. Dabei zeigt sich, daß die Dunkelanpassung weniger gestört ist als die Hellanpassung. Die Kranken zeigen eine außerordentlich beschleunigte Zerstörung der Netzhautempfindlichkeit bei Zwischenbelichtung, die nicht den einfachen Gesetzen beim Normalen entspricht.

Zum Schluß danke ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Oberstabsarzt Professor Dr. Ranke, für die Ueberlassung des Themas und für die freundliche Unterstützung mit Rat und Tat bei der Durchführung dieser Untersuchungen.

Schriftenverzeichnis.

Best, F.: Ueber die Dunkeladaptation der Netzhaut. Graefes Arch. 76 (1910).

Birch-Hirschfeld: Das Fünfpunktadaptometer zur Bestimmung des Lichtsinnes in neuer verbesserter Form. Klin. Mbl. f. Augenheilk. 97 (1936).

Dieter, W.: Allgemeine Störungen der Adaptation des Sehorgans. Bethe-Bergmann, Hdb. XII/2, S. 1595 (1931).

Dittler, R. und Koike, J.: Ueber die Adaptationsfähigkeit der Fovea Centralis. Z. Sinnesphysiol. 46 (1912).

Drescher, K. und Trendelenburg, W.: Eine Lichtfläche zur Normierung der Helladaptation. Klin. Mbl. f. Augenheilk. 76 (1926).

Engelking, E. und Hartung, H.: Ein neues Adaptometer für den klinischen Gebrauch. Klin. Mbl. f. Augenheilk. 89 (1932).

Fischer, F. und Jongbloed, J.: Untersuchungen über die Dunkeladaptation bei herabgesetztem Sauerstoffdruck der Atmungsluft. Arch. f. Augenheilk., 109 (1936).

Fröhlich, F. W.: Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinnesorgane. Z. Sinnesphysiol. 48 (1913).

Garten, S.: Ueber die Veränderung des Sehpurpurs durch Licht. Graefes Arch. 63 (1906).

Hecht, S, Selig und Mandelbaum: Rod-cone dark adaptation and vitamin A. Ber. ges. Physiol. exp. Pharm. 112 (1939).

Kohlrausch, A.: Untersuchungen mit farbigen Schwellenprüflichtern über den Dunkeladaptationsverlauf des normalen Auges. Pflügers Arch. 196 (1922).

Kravkov und Semenovskaja: Zur Frage der Abhängigkeit der Sehfunktion vom längeren Hungern. Arch. Ophthalm. 132 (1934).

v. Kries, J.: Ueber die Funktion der Netzhautstäbchen. Z. Psychol. Physiol. Sinnesorg. 9 (1896).

— Zur Theorie des Tages- und Dämmerungssehens. Hdb. norm. path. Physiol. 12, 1, 1929.

Matthey, G.: Eine Standartkurve der Dunkeladaptation für klinische Untersuchungen. Graefes Arch. 129 (1933).

Meßmer, O.: Ueber die Dunkeladaptation bei Hemeralopie. Z. Sinnesphysiol. 42 (1908).

Müller, H. K.: Ueber den Einfluß verschieden langer Vorbelichtung auf die Dunkeladaptation und auf die Fehlergröße der Schwellenreizbestimmung während der Dunkelanpassung. Arch. Ophthalm. Berlin 125 (1931).
— Zur Darstellung des Dunkeladaptationsverlaufes für klinische Untersuchungen in Kurvenform. Graefes Arch. 125 (1930).
Nagel, W. A. und Schäfer, K. L.: Ueber das Verhalten der Netzhautzapfen bei Dunkeladaptation des Auges. Z. Psych. Physiol. Sinnesorg. 34 (1904).
Nagel, W. A.: Zwei Apparate für die augenärztliche Funktionsprüfung. Z. f. Augenheilk. 17 (1907).
Piper, H.: Ueber das Helligkeitsverhältnis monocularer und binocularer ausgelöster Lichtempfindungen. Z. Psychol. Physiol. Sinnesorg. 31 (1903).
— Ueber die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen- bezw. Winkelgröße. Zeitschr. wie oben (1903), 31.
— Ueber Dunkeladaptation. Z. Psych. Physiol. Sinnesorg. 31 (1903).
— Zur messenden Untersuchung und zur Theorie der Hell-Dunkeladaptation. Klin. Mbl. f. Augenheilk. 45 (1907).
— Pipersches Adaptometer. Klin. Mbl. f. Augenheilk.
Stargardt, R.: Ein Apparat für gleichmäßige Helladaptation. Klin. Mbl. f. Augenheilk. 81 (1916).
v. Studnitz, G.: Physiologie des Sehens. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, (1940).
Trendelenburg, W.: Quantitative Untersuchungen über die Bleichung des Sehpurpurs in monochromatischem Licht. Z. Psychol. Physiol. Sinnesorg. 37 (1904).
Wessely, K.: Ein einfacher Apparat zur Messung der Adaptation. Münch. Med. Wochenschr. 49 (1915).
— Die Störungen der Dunkelanpassung der Augen im Kriege, ihre Erkennung und Beurteilung. Kriegsärztlicher Abend. Würzburg. Autoreferat 1918.
Wölfflin, E.: Ueber Dunkeladaptation von fovealen und perifovealen Netzhautpartien. Graefes Arch. 76 (1910).
— Der Einfluß des Lebensalters auf den Lichtsinn bei Dunkeladaptierten. Graefes Arch. 61 (1905).

Lebenslauf.

Am 5. Dezember 1915 wurde ich, Ernst van Beuningen, als Sohn des Pfarrers Harry van Beuningen in Berlin geboren. Nach Absolvierung der vorgeschriebenen Volksschulausbildung besuchte ich das humanistische Gymnasium in Fürstenwalde/Spree und legte daselbst Ostern 1935 die Reifeprüfung ab. Im Sommersemester 1935 begann ich mein Studium in Medizin an der Universität Gießen an der Lahn. Im selben Jahr trat ich als Fahnenjunker im San.-Korps in das Heer ein und wurde im Oktober 1935 zur Militärärztlichen Akademie kommandiert. In Berlin beendete ich mein Staatsexamen am 23. November 1940.